

АСТРОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ СПУТНИКОВ УРАНА И НЕПТУНА НА ТЕЛЕСКОПАХ ГАО РАН И КРАО РАН В 2020 г.

Д. А. Биколова¹, С. В. Назаров², М. Ю. Ховричев³

¹Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,

²Крымская астрофизическая обсерватория РАН,

³Санкт-Петербургский государственный университет

В работе представлены результаты наблюдений спутников Урана и Нептуна, выполненных в 2020 г. с помощью метрового зеркального телескопа «Сатурн» (ГАО РАН) и 350-мм гига телескопа «Синтез» (КраО РАН). Получено более 8 тыс. отдельных положений спутников Урана и Нептуна в системе каталога Gaia EDR3. Средние ошибки координат спутников по прямому восхождению и склонению, демонстрирующие внутреннюю сходимость результатов наблюдений, лежат в пределах 10–50 mas.

ASTROMETRIC OBSERVATIONS OF URANIAN AND NEPTUNIAN SATELLITES WITH THE PULKOVO AND CRIMEAN OBSERVATORY TELESCOPES IN 2020

D. A. Bikulova¹, S. V. Nazarov², M. Yu. Khovritchev³

¹Pulkovo Observatory, ²Crimean astrophysical observatory, ³Saint Petersburg State University

The paper presents the results of observations of the Uranian and Neptunian satellites performed in 2020 with the 1-meter mirror telescope ‘Saturn’ (Pulkovo observatory) and the 350-mm guide telescope of the ‘Sintez’ telescope (Crimean observatory). More than 8 thousand separate positions of the satellites were obtained in the Gaia EDR3 catalog system. The average values of standard errors of the satellite normal place in right ascension and declination for the entire observation period, demonstrating the internal convergence of the observation results, lie within 10–50 mas.

Введение

Позиционные наблюдения с борта космических аппаратов, радиолокационные наблюдения с Земли, большие ряды наземных астрометрических наблюдений в настоящее время доступны для спутников Юпитера и Сатурна. Большой объем наблюдений и их высокая точность привели к значимому прогрессу в изучении динамики и внутреннего устройства самих планет и их спутников [1]. Для более далеких Урана и Нептуна космические миссии Вояджеров не обеспечили большой объем астрометрической информации. Поэтому сейчас и еще долгое время высокоточные наземные наблюдения спутников Урана и Нептуна будут оставаться актуальными [2]. В связи с этим на телескопах Пулковской и Крымской обсерваторий ведутся астрометрические наблюдения этих небесных тел. В настоящей статье дается представление о методике наблюдений, обработке данных и достигнутых результатах.

© Биколова Д. А., Назаров С. В., Ховричев М. Ю., 2021

Наблюдения

Наблюдения в ГАО РАН велись с помощью метрового зеркального телескопа «Сатурн» ($D = 1$ м, $F = 4$). Использовалась камера ZWO ASI1600 Pro, установленная в фокальной плоскости телескопа. Поле зрения составляет 13×10 угловых минут, масштаб 172 mas/px . Были сняты длинные серии кадров (сотни штук) с экспозициями по несколько секунд (1–10). В 2020 г. наблюдения проводились с августа по декабрь. В общей сложности было получено более 8 тыс. отдельных наблюдений спутников Урана и Нептуна.

Наблюдения в КрАО РАН проводились при помощи телескопа системы Ньютона ($D = 350$ мм, $F = 1767$ мм), размещенного в павильоне с откатной крышей. Он снабжен самодельной полуавтоматической системой наведения. В качестве приемника использовалась камера QHY-9 на сенсоре KAF 8300M, размер пикселя 5,4 мкм, масштаб 630 mas/px , рабочее поле $35 \times 26'$, время накопления составляло 45 с. Обзор изучаемых спутников в КрАО РАН велся с середины ноября по начало декабря и в общей сложности составил более 170 наблюдений спутников Нептуна и 500 — спутников Урана.

Обработка данных

Предварительная обработка кадров включала в себя процедуры определения WCS-параметров, выборки данных из каталога Gaia EDR3 и вычисления топоцентрических эфемерид спутников на центральный момент съемки. Все эти данные автоматически вписывались в ПЗС-кадры как отдельные HDU с помощью специального скрипта. Это обеспечило возможность более гибко настраивать процедуру астрометрической обработки: выделять области ПЗС-кадра, содержащие изображения опорных звезд и спутников планет.

Для измерения пиксельных координат объектов на ПЗС-кадре использовалась шейплет-декомпозиция изображений, хорошо показавшая себя в наших предыдущих работах [3, 4]. На первом этапе для звезд с величиной $\text{SNR} > 100$ (SNR — отношение сигнал/шум) вычислялись шейплет-коэффициенты и нормировались на единичный поток. Финальные значения шейплет-коэффициентов для PSF-снимка формировались как медианные из всего ансамбля. Далее построенные PSF использовались для аппроксимации изображений звезд и спутников и вычисления пиксельных координат. Варьировались значения координат фотцентра, локального фона и потока.

Астрометрическая редукция производилась методом шести постоянных. Понятно, что реальная проекция с большой вероятностью не описывается линейной моделью. Поэтому для каждой звезды вычислялись остаточные разности координат в смысле (O–C). Осреднение поля остаточных разностей позволило получить картину искажений (обобщенную дисторсию) и параметризовать ее для вычисления поправок. Пример поля поправок для телескопа «Сатурн» показан на рис. 1. Как видно, в ряде случаев поправки могут достигать 100 mas . Эти поправки добавлялись к координатам спутников в зависимости от их положения на ПЗС-кадре.

Заключение

Таблица дает представление о количестве и качестве наблюдений и их анализа. Угловые разделения между планетой и спутниками Урана больше, чем для спутников Нептуна. Поэтому для Нептуна удалось надежно измерить только координаты Тритона (TRITON). У телескопа «Сатурн» меньше угловой масштаб и больше проникание, чем у гига телескопа «Синтез». По этой причине на телескопе «Сатурн» эффективно наблюдались четыре спутника: Ариэль (ARIEL), Умбриэль (UMBRIEL), Титания (TITANIA) и Оберон (OBERON)).

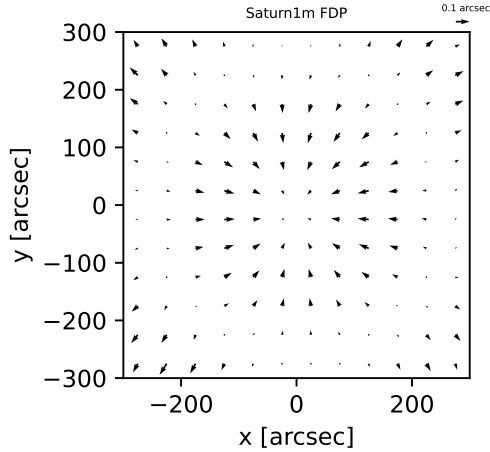


Рис. 1. Поле остаточной дисторсии для пулковского телескопа «Сатурн»

О-С для спутников Урана и Нептуна

Телескоп	Спутник	N	(O-C) $_{\alpha}$ mas	(O-C) $_{\delta}$ mas
«Сатурн»	ARIEL	831	-12 \pm 44	8 \pm 52
«Сатурн»	UMBRIEL	1029	-22 \pm 12	7 \pm 21
«Сатурн»	TITANIA	2218	-2 \pm 14	3 \pm 16
«Сатурн»	OBBERON	2426	3 \pm 12	-1 \pm 11
«Сатурн»	TRITON	1476	10 \pm 37	5 \pm 56
«Синтез»	TITANIA	234	-34 \pm 61	8 \pm 68
«Синтез»	OBBERON	271	-14 \pm 63	58 \pm 53
«Синтез»	TRITON	117	-21 \pm 67	47 \pm 73

По снимкам, полученным в КраО, удалось адекватно измерить положения Титании и Оберона.

Выполнялось сравнение полученных координат с положениями, вычисленными для моментов наблюдений на основе комбинаций теорий движения EPM2017+Lainey для спутников Урана и EPM2017+Emelyanov&Samorodov для Тритона с помощью сервиса [5] (вычисление (O-C)). В двух последних колонках таблицы представлены средние значения (O-C) по обеим координатам и величины стандартных ошибок одного наблюдения. Величины (O-C) $_{\alpha}$ редуцированы с учетом $\cos \delta$. Точность полученных координат в основном лежит в пределах 10–50 mas. Средние значения разностей (O-C) свидетельствуют о хорошей согласованности результатов наблюдений с результатами вычислений, выполненных посредством современных планетных и «спутниковых» теорий.

Дополнительную информацию о качестве наблюдений несет пример поведения разностей (O-C) по склонению для спутника Урана Титании, приведенный на рис. 2. Этот рисунок построен по результатам наблюдений, выполненных на телескопе «Синтез» (КраО РАН). Таким образом, в течение получасовой серии наблюдений имеют место вариации раз-

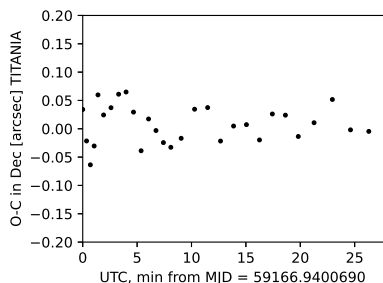


Рис. 2. Изменение О-С по склонению от времени для спутника Урана Титании по результатам наблюдений, выполненных на телескопе «Синтез» (КРАО РАН)

ностей с размахом ± 50 mas. С большой вероятностью эти вариации имеют систематический характер, что позволит в дальнейшем учесть их и повысить точность как в случайном, так и в систематическом отношении.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-32-90175.

Библиографические ссылки

- [1] *Lainey Valéry, Casajus Luis Gomez, Fuller Jim et al.* Resonance locking in giant planets indicated by the rapid orbital expansion of Titan // *Nature Astronomy*. — 2020. 2006.06854.
- [2] *Lainey V.* A new dynamical model for the Uranian satellites // *Planet. Space Sci.* — 2008. — Vol. 56, № 14. — P. 1766–1772.
- [3] *Khovrichiev M. Yu., Apetyan A. A., Roshchina E. A. et al.* Searching for Binary Systems Among Nearby Dwarfs Based on Pulkovo Observations and SDSS Data // *Astronomy Letters*. — 2018. — Vol. 44, № 2. — P. 103–118.
- [4] *Bikulova D. A.* Improvement of positional accuracy of Solar system bodies ground-based observations with CCD-imaging of close approaches of them with Gaia stars // *Contributions of the Astronomical Observatory Skalnat Pleso*. — 2019. — Vol. 49, № 2. — P. 459–461.
- [5] *Emel'Yanov N. V., Arlot J. E.* The natural satellites ephemerides facility MULTI-SAT // *Astron. Astrophys.* — 2008. — Vol. 487, № 2. — P. 759–765.